

# 白神山地の土壌熱伝導率の測定

繁澤和佳子\* 諸泉利嗣\*\* 佐々木長市\*\*\*

## Measurement of thermal conductivity in the soils of Shirakami Mountains

Wakako HANZAWA\*, Toshitsugu MOROIZUMI\*\*, and Choichi SASAKI\*\*\*

(Received December 28, 2005)

Thermal conductivity of soils in Shirakami Mountains that was registered on UNESCO's World Natural Heritage in 1993 were measured using a twin transient-state cylindrical-probe method. The typical results were as follows: (1) Thermal conductivity of the soils in Shirakami Mountains increased according to an increase of soil water content, which was the same tendency as the other soils. (2) The thermal conductivity of the soils was by about  $0.2 \sim 0.3 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  smaller than volcanic ash soils, and it showed the same tendency as leaf mold.

**Key words:** Shirakami Mountains, Thermal conductivity, Twin transient-state cylindrical-probe method, Volumetric water content

## 1 はじめに

青森・秋田県境に日本海に面して広がる白神山地は、1993年に屋久島とならんで、日本で最初の世界自然遺産に登録された。白神山地の地形、地質、動植物および人間活動に関係する調査等が行われているが、研究の歴史は浅く、特に土壌に関する研究はそれほど多くない（国立公園協会(財), 1995）。こうした状況の中で、佐々木ら（2004, 2005）は、土壌の物理的な調査を中心に、土壌の基本的な理化学特性や白神山地の土壌を通過し湧き出る湧水の水質などを調査検討している。今回、我々は世界自然遺産である白神山地の土壌の熱伝導率を測定する機会を得たので、その結果をここで報告する。

土壌の熱伝導率は、地中の温度環境が形成される際の重要な因子の一つである。また、土壌の熱伝導率は、土壌の内部構造の情報を与えてくれる。本報告では、白神山地土壌の熱伝導率を測定することにより、その特徴を明らかにし、白神山地の土壌の特性を熱伝導率の観点から検討した。

## 2 土壌試料の採取（佐々木ら, 2005）

土壌試料は、西津軽郡西目屋村高倉森（通称“白神”，北緯  $40^{\circ} 32' 25''$ ，東経  $140^{\circ} 9' 50''$ ，標高約 600m）付近の勾配約  $25^{\circ}$  の北側から南側に向かう斜面から採取した。植生は、サワグルミ、ブナ、ササ、ワサビ、シダ類からなっていた。この採土地点は、図1に示す2004

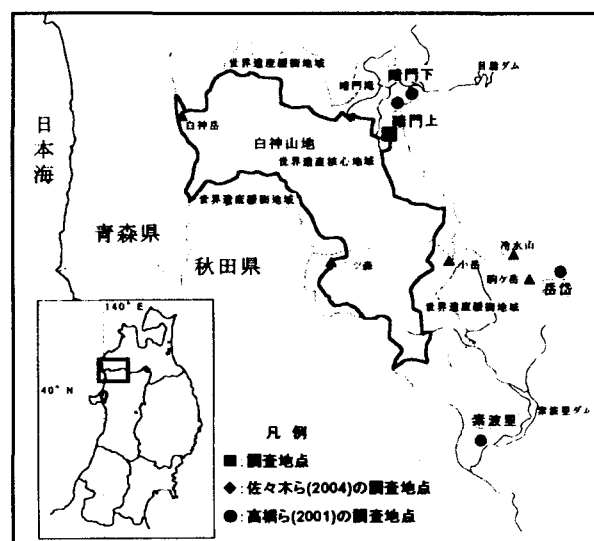


図1 土壌採取地点（佐々木ら, 2005）

\*岡山大学大学院自然科学研究科,

\*\*岡山大学大学院環境学研究科, \*\*\*弘前大学農学生命科学部

年度の調査地点である川原沢扇状地の北東部に位置する。採土は2004年9月27日に行った。

また、高森地区との比較のため、世界遺産核心地から20kmほど北に位置する鱈ヶ沢町深谷町（通称“ミニ白神”，北緯 40° 40' 20"，東経 140° 11' 20"，標高約300m）の森の湧きつぼ付近からも土壌試料を採取した。この地区は、藩政時代より田園の水を涵養するための禁伐採として保護されてきたブナ林である。

土壌試料は、農地の土壌調査法を適用し調査深を1mとし、第Ⅰ～Ⅲ層の各層の中心から100cc サンプラーによる不攪乱土及び攪乱土を採取した。熱伝導率の測定には、攪乱土を用いた。

### 3 実験方法

#### 3.1 測定原理

土壌熱伝導率の測定法には、定常法と非定常法がある。定常法は、一定の温度勾配を長時間試料に与えるのもで、土壌の場合、水や水蒸気、空気移動を引き起こすため、正確な測定値が得られない。そのため土壌の熱伝導率測定には、わずかな熱量を短時間試料に与えるだけで測定できる非定常法が用いられる。非定常法には、単一プローブ法、双子型プローブ法、双極熱パルス法などがあるが、いずれの方法も、無限大の試料中に入れた線熱源から一定時間に一定の発熱があるとき、線熱源の周囲の熱伝導率が高い場合は線熱源自身の温度上昇が小さく、逆に周囲の熱伝導率が小さい場合には線熱源の温度上昇が大きいことを利用している（ファイトテクノロジー研究会, 2002）。

本研究では、双子型プローブ法（粕淵, 1982）によって熱伝導率を測定した。この方法は、2本のヒートプローブを用いて、熱伝導率が既知である試料と未知である試料との温度変化の比から熱伝導率を求めるものである。

温度  $T_0$  の物質中にある線熱源から単位時間、単位長さ当たりの一定の発熱がある場合の線熱源自身の温度は次式で表される。

$$T - T_0 = \frac{q}{4\pi\lambda} \{d + \ln(t + t_0)\} \quad (1)$$

ここで、 $T$ : 時間  $t$  における線熱源の温度、 $\lambda$ : 固体の熱伝導率、 $d$ : 定数、 $t_0$ : 補正項である。

発熱停止後の温度変化は、同様に次式で表される。

$$T - T_0 = \frac{q}{4\pi\lambda} \{d + \ln(t + t_0)\} - \frac{q}{4\pi\lambda} \{d + \ln(t - t_1 + t_0)\} \quad (2)$$

ここで、 $t_1$ : 発熱停止時間である。

次に、熱伝導率の異なる2つの物質が同じ温度にあるとき、両者の中にある線熱源に同時に同量の熱が発生すると、両者の温度変化の比は熱伝導率の逆比になる。

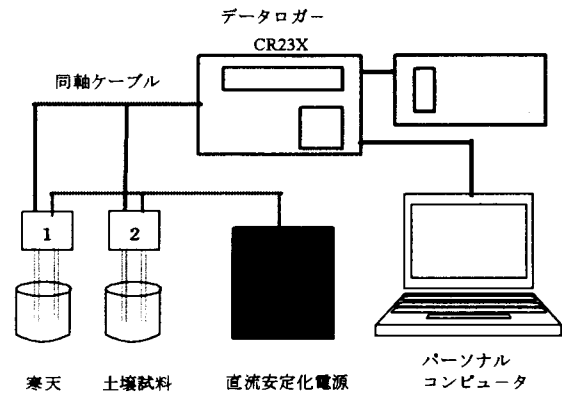


図2 実験システム

$$\frac{T_a - T_{a0}}{T_b - T_{b0}} = \frac{\lambda_b}{\lambda_a}$$

$$\therefore \lambda_a = \lambda_b \frac{T_b - T_{b0}}{T_a - T_{a0}} \quad (3)$$

ここで、 $a, b$  はそれぞれ熱伝導率が未知および既知の物質を表し、 $0$  は  $t=0$  の時を示す。式(3)により、温度変化の比から簡単に熱伝導率が求められる。

実際の測定では、温度上昇および降下の両者を測定し、得られた結果を平均して試料の熱伝導率とする。また、基準物質としては1%寒天ゲルを用い、水の熱伝導率 ( $0.6 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ,  $20^\circ\text{C}$ ) を適用する。

#### 3.2 実験手順

双子型プローブ法の測定システムは、直流安定化電源、データロガー、パソコン、100cc 土壌試料、基準物質（約1%の寒天ゲル）、ヒートプローブからなる（図2）。直流定電圧電源を用いてヒートプローブに熱を供給する。ヒートプローブは、外径1.0mm、内径0.5mm、長さ40mmのステンレスパイプの中に、ヒーターとしてエナメル被覆のコンスタンタン線と温度計として銅・コンスタンタン線熱電対を挿入し、パラフィンで固めたものを使用した。

実験手順は以下の通りである。

- ①土壌試料の水分量を調整する。
- ②100cc サンプラーに乾燥密度がほぼ等しくなるように水分調整した土壌試料を充填する。
- ③土壌試料と寒天ゲル（基準物質）のほぼ中央にそれぞれプローブを鉛直に挿入する。
- ④温度測定開始から15秒後に10Vの電源電圧を与え、150秒間通電する。通電停止後の温度変化を150秒間測定する。温度はデータロガーを用いて3秒間隔で測定する。
- ⑤絶乾状態から飽和状態まで①～④の手順を繰り返す。

実験は室温 25℃の恒温室で行った。

#### 4 結果と考察

##### 4.1 熱伝導率の計算例

双子型プローブ法の測定結果の一例として、白神第Ⅲ層の飽和土における土壌試料と基準物質の温度変化の関係を図3に示す。式(3)に必要な両プローブの温度変化の比は、横軸に  $T_a - T_{a0}$ 、縦軸に  $T_b - T_{b0}$  をとって描かれる直線の傾きで表すことができる。この例の場合、最小二乗法によって直線の傾きを求めたところ、温度上昇過程では 0.515、降下過程では 0.511 となり、両者の平均は 0.513 となった。したがって、熱伝導率は、寒天ゲルの熱伝導率  $0.6 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  を用いて式(3)より  $0.308 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  となる。

##### 4.2 各層の熱伝導率

体積含水率の変化に伴う白神（第Ⅰ～Ⅲ層）の熱伝導率を図4に、ミニ白神（第Ⅰ～Ⅲ層）の熱伝導率を図5にそれぞれ示す。各土壌とも体積含水率の増加に伴い熱伝導率は増加するという一般的な傾向を示した。

白神とミニ白神の熱伝導率は、体積含水率 20%程度まではほぼ同じ値であったが、それ以降はミニ白神の熱伝導率が白神の熱伝導率よりも大きくなる傾向を示した。飽和体積含水率では、白神の熱伝導率が平均で  $0.311 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 、ミニ白神が  $0.423 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  となり、ミニ白神の熱伝導率の方が  $0.11 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  程度大きくなった。また、両地点の土壌とも土層による熱伝導率の違いはみられなかった。

白神およびミニ白神いずれの土壌の熱伝導率も火山灰土（粕淵, 1972; 諸泉ら, 2004）より  $0.2 \sim 0.3 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  程度小さくなり、腐葉土と類似の傾向を示した（キャンベル, 1987）。一般に、高水分領域では固相の熱伝導率の効果が大きくなる（キャンベル, 1987）ことから、飽和水分領域で白神土の熱伝導率が火山灰土よりも小さくなった理由として、白神土では熱伝導率の小さな有機物含量が火山灰土よりも若干多かったことが考えられる。佐々木ら（2004）によると白神山地の土壌は褐色森林土の様相を呈し、褐色森林土表層の腐植含量より少ないものの、表層で 5.3%、第Ⅲ層で 7.7%の腐植含量であることが明らかにされている。また、白神の方がミニ白神よりも全体的に熱伝導率が小さい（飽和土で  $0.1 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  程度小さい）ことから、腐植含有量はミニ白神よりも白神の方が多かったと考えられる。このように、熱伝導率を測定することによって、土壌の構成成分をある程度推察することが可能になる。

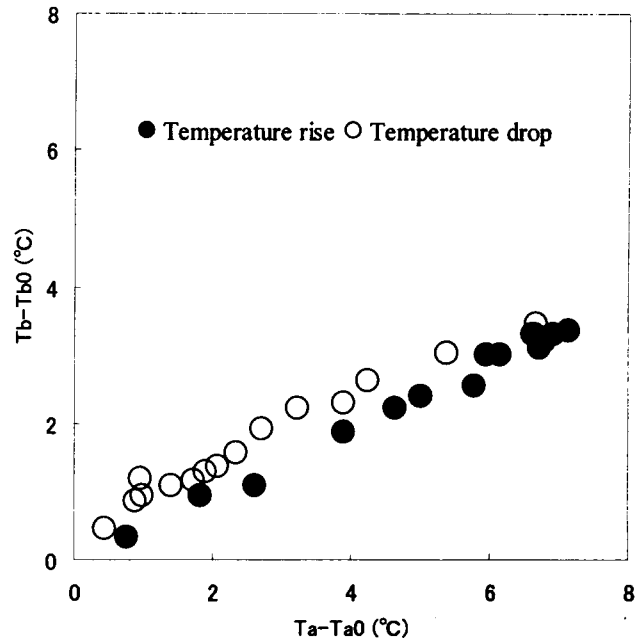


図3 土壌試料（白神第Ⅲ層飽和）と基準物質（寒天）の温度変化の関係

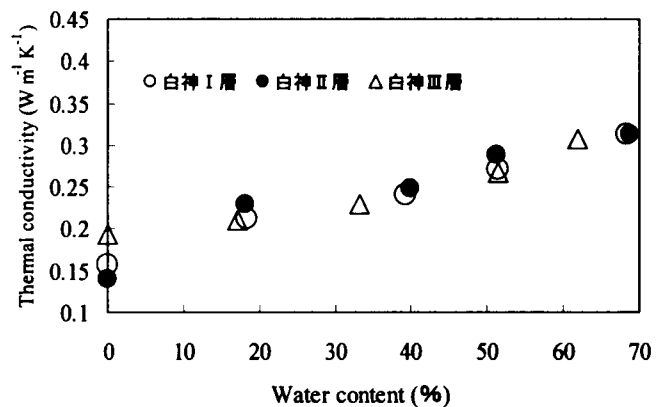


図4 熱伝導率と土壌水分量の関係（白神）

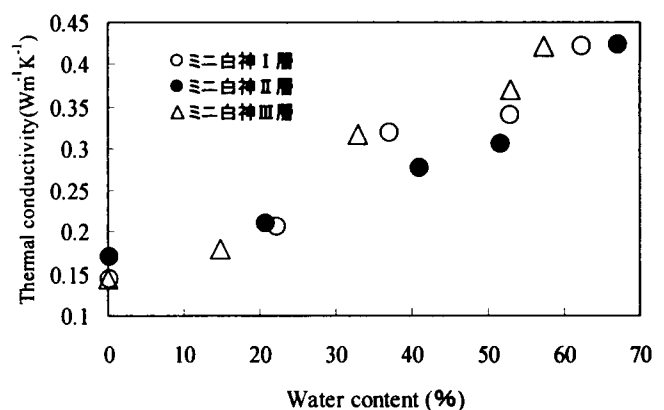


図5 熱伝導率と土壌水分量の関係（ミニ白神）

## 5 おわりに

本報告では、双子型プローブ法を用いて世界自然遺産である白神山地の土壌熱伝導率を測定し、その特徴を検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1)各土壌の熱伝導率は、体積含水率の増加に伴い大きくなるという一般的傾向を示した。
- (2)白神とミニ白神の熱伝導率は、体積含水率 20%程度まではほぼ同じ値であったが、それ以降はミニ白神の熱伝導率が白神の熱伝導率よりも大きくなる傾向を示した。
- (3)白神およびミニ白神いずれの土壌の熱伝導率も火山灰土より  $0.2 \sim 0.3 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  程度小さくなり、腐葉土と類似の傾向であった。
- (4)腐植含有量はミニ白神よりも白神の方が多かったと推察された。

謝辞：土壌試料の採取に際しては、弘前大学白神研究会の協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- ゲイロン S. キャンベル著, 中野政詩・東山勇監訳 (1987): パソコンで学ぶ土の物理学, 鹿島出版会, p.31.
- 粕淵辰昭 (1972): 土壌の熱伝導率におよぼす水分の影響 火山灰土壌, 沖積土壌, 洪積土壌について, 土肥誌 43(12), 437-441.
- 粕淵辰昭 (1982): 土壌の熱伝導に関する研究, 農業技術研究所報告 B 第 33 号, 10-12.
- 諸泉利嗣・佐藤裕一・佐藤幸一・佐々木長市 (2004): 土壌熱伝導率の測定と推定式の適用, 岡山大学環境理工学部研究報告 9, 117-120.
- ファイトテクノロジー研究会 (2002): ファイテク How to みる・きく・はかる-植物環境計測-, 養賢堂, 114-115.
- 佐々木長市・殿内暁夫・野田香織・松山信彦・檜垣大助・諸泉利嗣 (2004): 白神山地の土壌に関する研究(1), 白神研究創刊号, 24-29.
- 佐々木長市・殿内暁夫・野田香織・松山信彦・小関恭・諸泉利嗣・檜垣大助 (2005): 白神山地の土壌に関する研究(2), 白神研究第 2 号, 28-34.